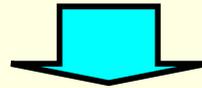

2重反転翼列のCFD解析

— 様流れ中の翼列周辺流れ構造の解明 —

2007年 4月 28日

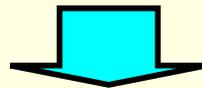
1. 解析の目的

- ◆ 2重反転無限翼列を用いた水車に関する性能評価
- ◆ パラメータスタディによる翼列の各種諸元の最適化



移動境界CFD解析

→ 翼列周辺の流動状況及び圧力分布を評価



水車翼列の最適設計に関する指針

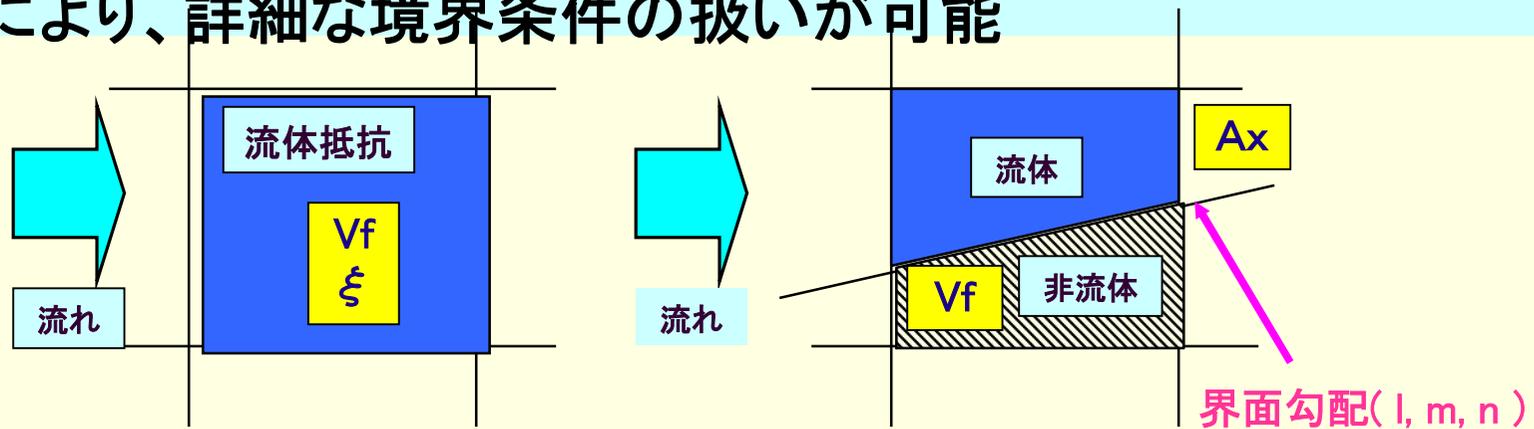
2. 移動境界CFDの解析手法

手法	長所	短所
Euler	簡単な定式化, 計算コスト少	形状表現に難がある, 格子生成ソフトが無い
ALE	形状表現への柔軟性, 格子生成ソフトが豊富	計算コスト大, リメッシュ・リゾーン時の物 理量割り当てが困難
Multi Grid	簡単な定式化	複数の移動物体の取り扱い は困難, 計算コスト大

表. 各手法の得失

3. SuperCartesian法の概念

- SuperCartesian法 → 一般化ポロシティ法の一つ
- Euler格子の中でセル毎の体積占有率と各面開口率を用いて一般的な斜め境界を表現。界面勾配を考慮することにより、詳細な境界条件の扱いが可能



体積占有率: V_f
流動抵抗係数: ξ

体積占有率: V_f
各面開口率: A_x, A_y, A_z 界面勾配

セル内では多孔質物体を仮定

セル内で界面を仮定し、流体側の運動をシミュレート

4. Super Cartesian法の定式化

<基礎方程式>

該当する体積占有率 V_f , 開口率 A_x, A_y, A_z を任意に時間変化させる

◆運動方程式 (Navier-Stokes方程式):

$$\begin{aligned} \partial (uV_f) / \partial t + uA_x(\partial u / \partial x) + vA_y(\partial u / \partial y) + wA_z(\partial u / \partial z) \\ = V_f \cdot (-\partial P / \partial x + (\mu / \rho) \nabla^2 U |_x + F_x) \end{aligned}$$

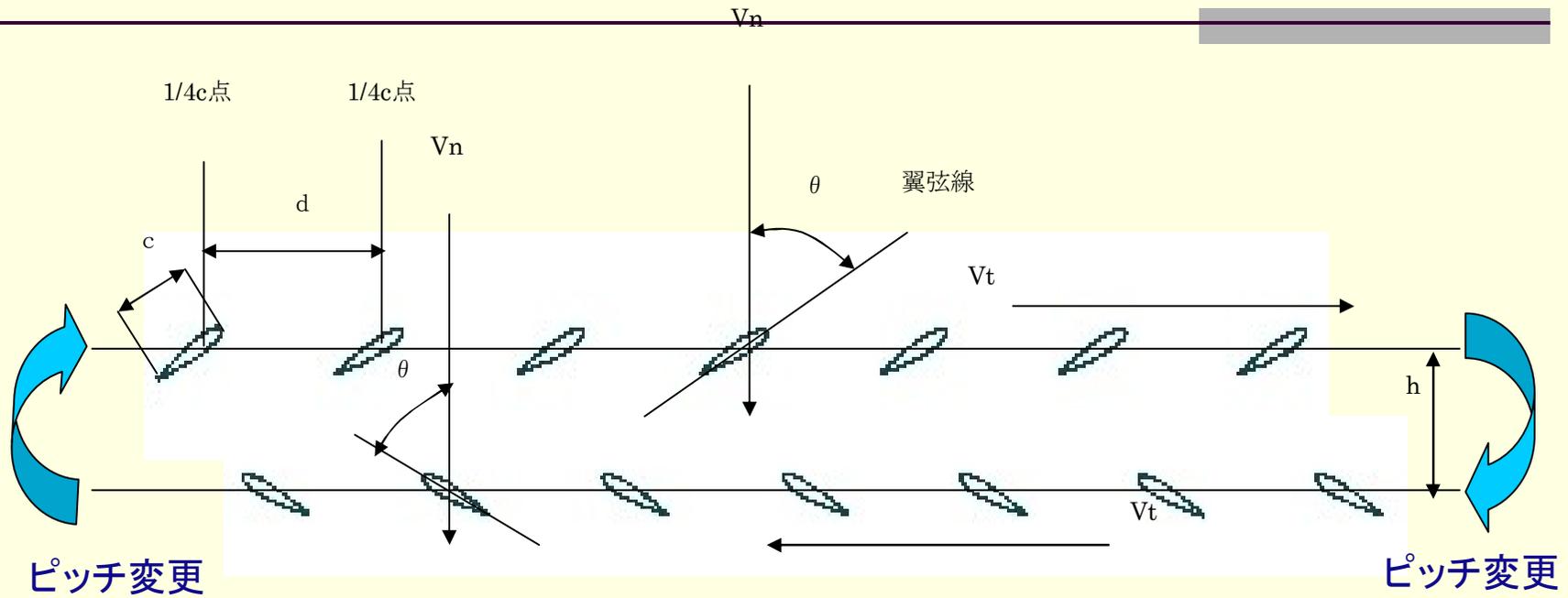
$$\begin{aligned} \partial (vV_f) / \partial t + uA_x(\partial v / \partial x) + vA_y(\partial v / \partial y) + wA_z(\partial v / \partial z) \\ = V_f \cdot (-\partial P / \partial y + (\mu / \rho) \nabla^2 U |_y + F_y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial (wV_f) / \partial t + uA_x(\partial w / \partial x) + vA_y(\partial w / \partial y) + wA_z(\partial w / \partial z) \\ = V_f \cdot (-\partial P / \partial z + (\mu / \rho) \nabla^2 U |_z + F_z) \end{aligned}$$

◆連続の式:

$$\partial (V_f) / \partial t + A_x(\partial u / \partial x) + A_y(\partial u / \partial y) + A_z(\partial u / \partial z) = 0$$

5. 二重反転翼列の基本概念



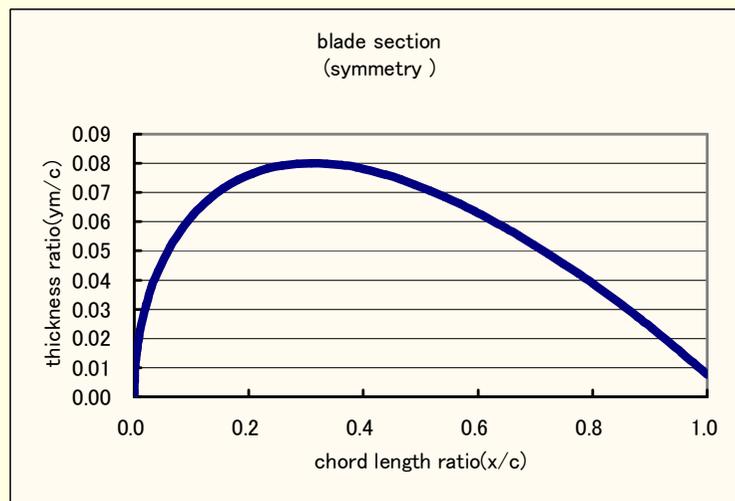
6. 解析条件

- ① c (翼弦長) = 0.15m
- ② d (翼弦上前縁から1/4弦長点間隔) = $2c$ 、 $1.5c$
- ③ h (1/4弦長点間隔) = 0.6m
- ④ V_n (水流速度) = 2.0m/sec
 $k = (0.1 \cdot V_n)^2 = 0.04$, $\varepsilon = C_\mu \cdot k^{1.5} / (L/7) = 0.0021$,
($C_\mu = 0.09$, $L = 2.4$)
- ⑤ V_t (並進速度) = 5.0m/sec (回転半径0.3m、回転数160rpm)
3.125m/sec (回転半径0.3m、回転数100rpm)
- ⑥ θ (ピッチ角: V_n と翼弦線との成す角度) = 60°
ピッチは1/4翼弦点を中心に回転。

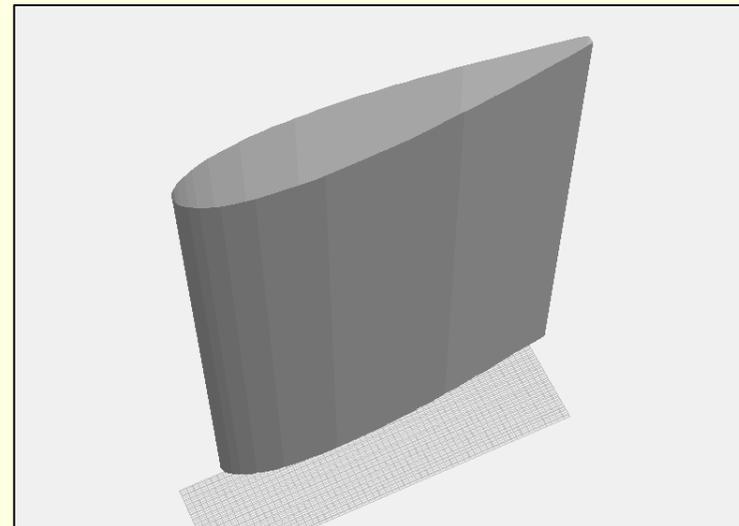
なお、乱流モデルは標準k- ε 2方程式モデルを使用した。

7. 翼形データのインポート

図, 翼形データ

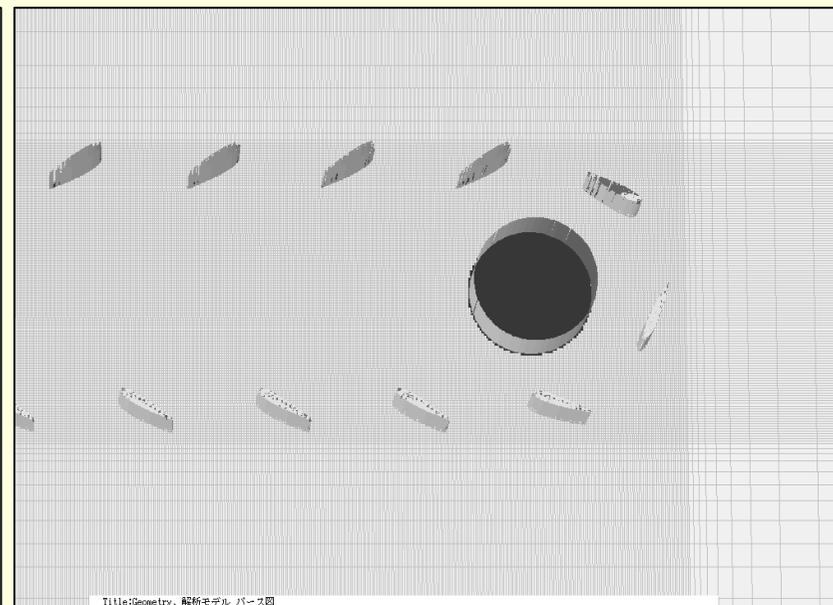
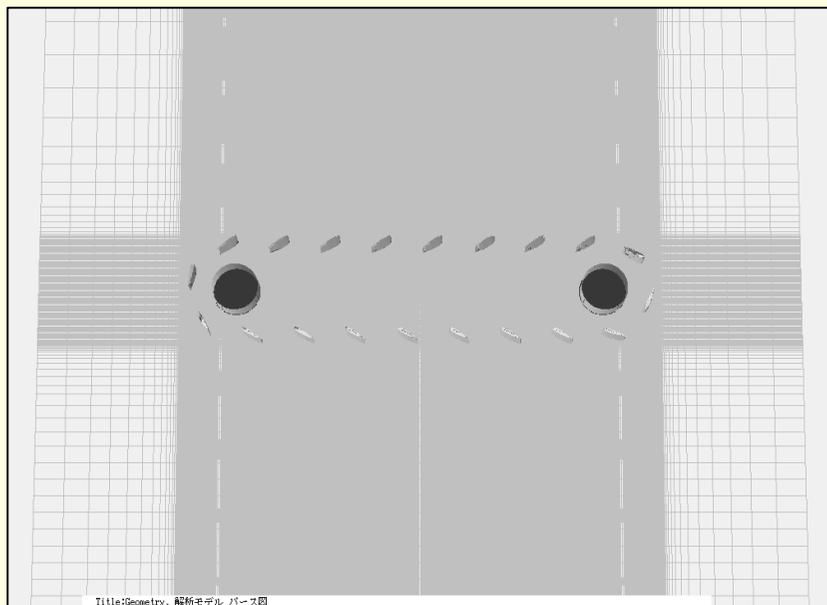


図, 翼形データ

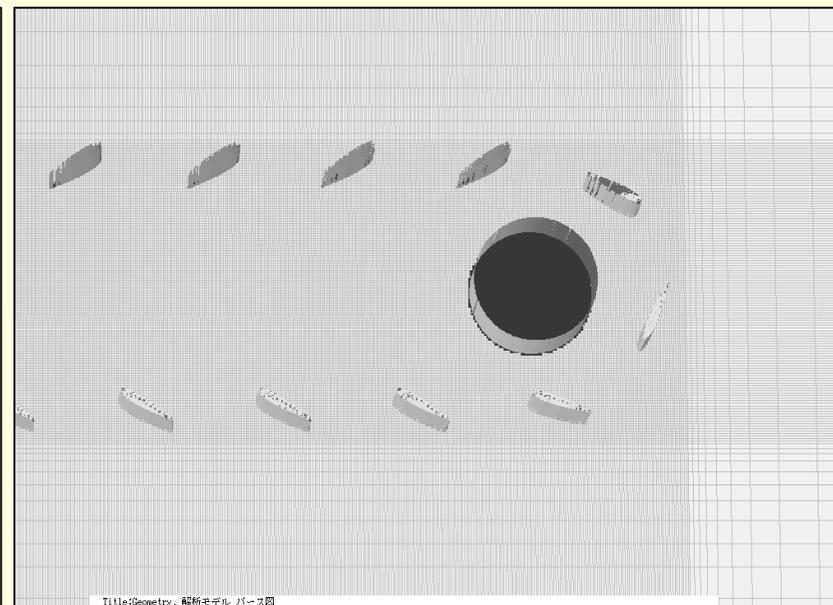
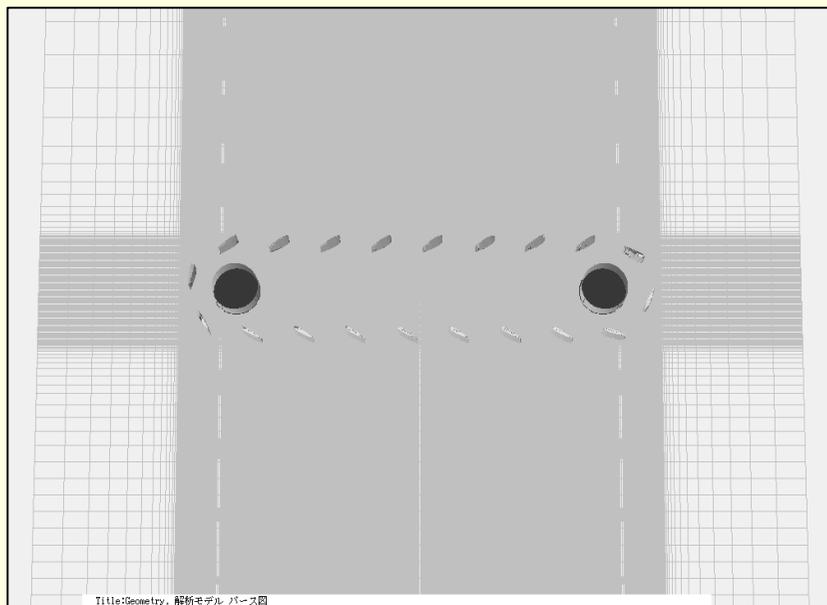


図, 3次元翼形(CADデータ)

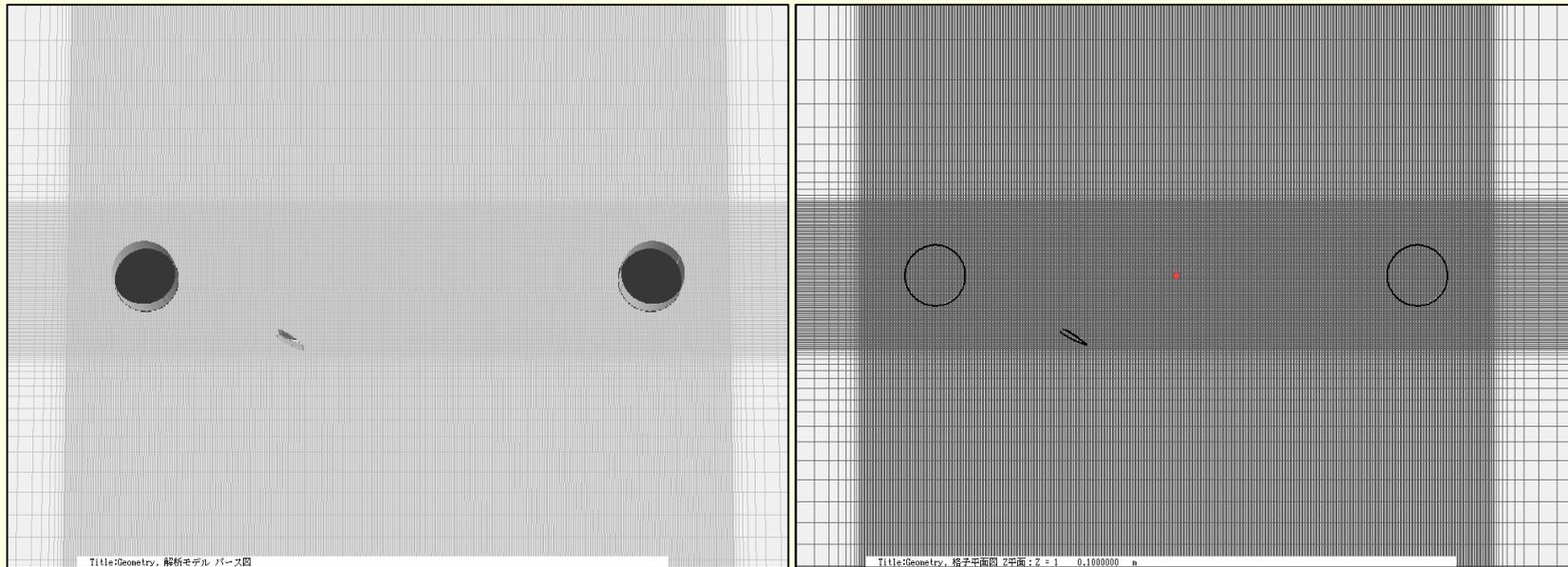
8. 翼列解析モデル(幅 $2c$)



9. 翼列解析モデル(幅 1.5c)

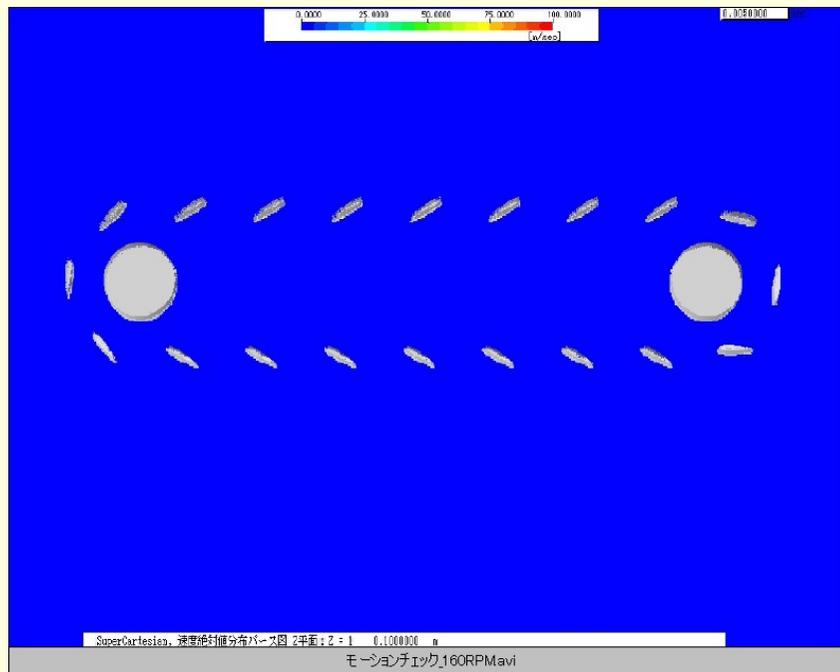


10. 単翼解析モデル

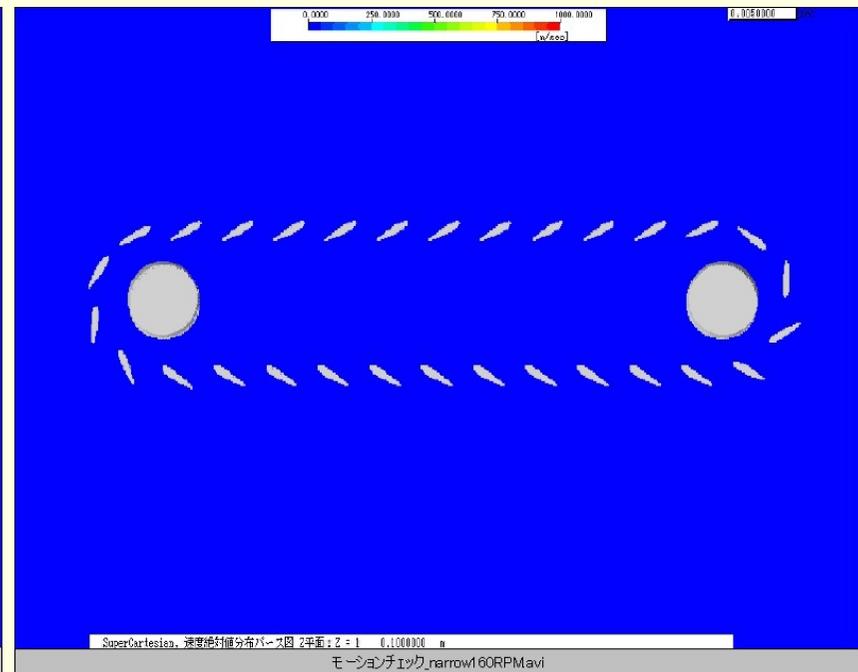


11. 翼列モーションチェック

幅 2c

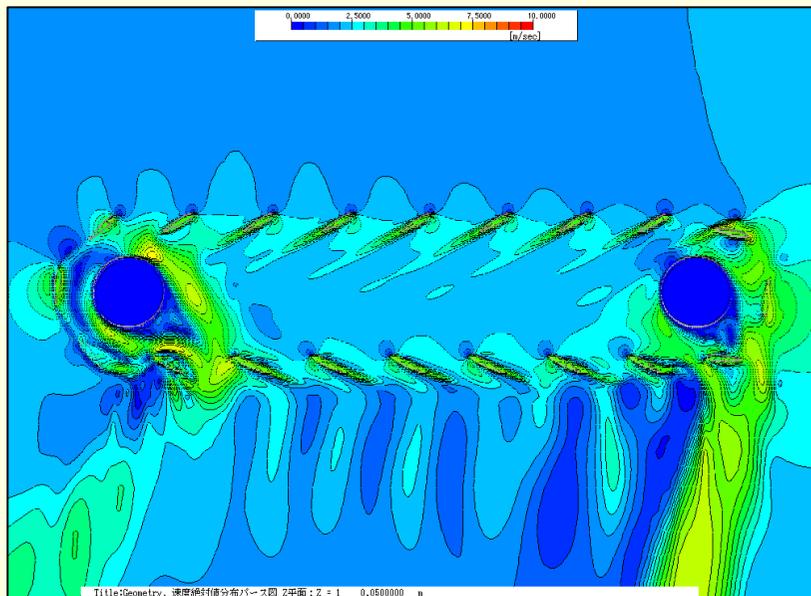


幅1,5c

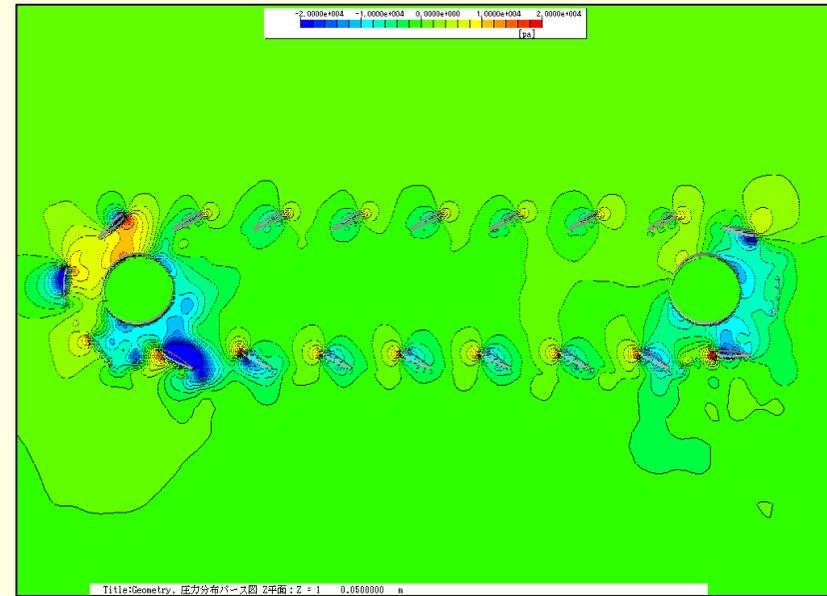


12. 計算結果 ①幅2c, 160RPM

速度分布図(全体)

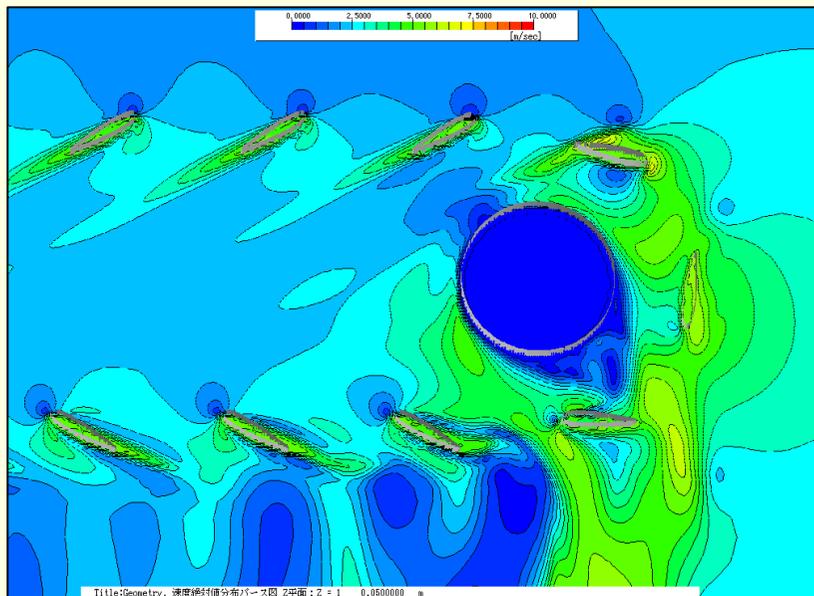


圧力分布図(全体)

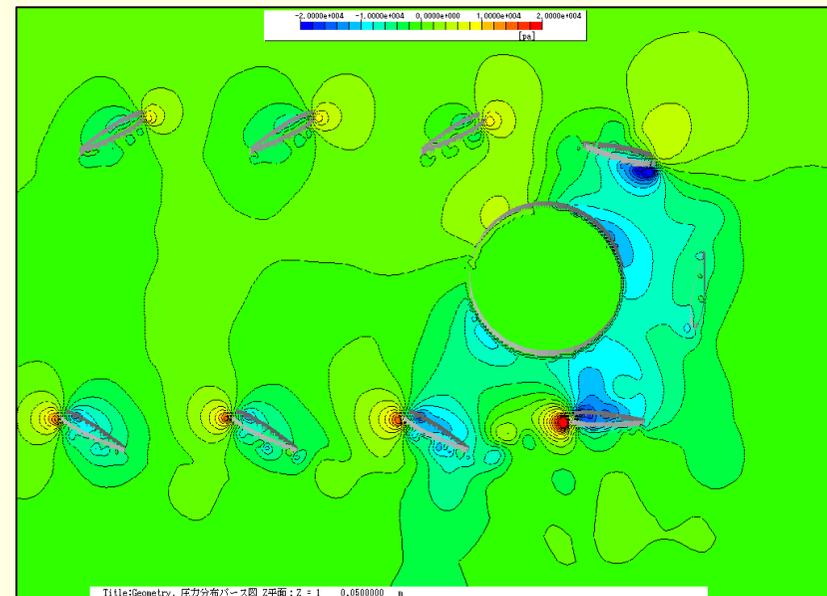


13. 計算結果 ①幅2c, 160RPM

速度分布図(右端)

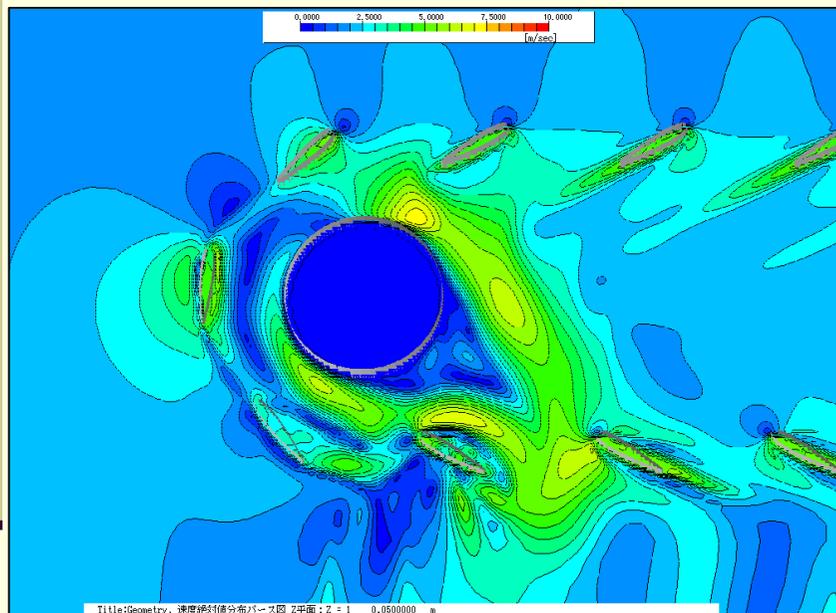


圧力分布図(右端)

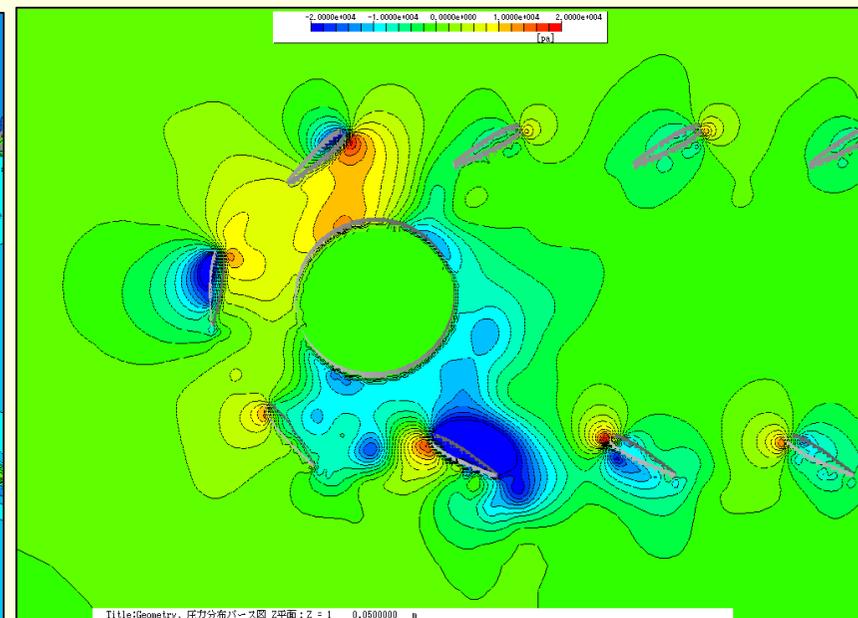


14. 計算結果 ①幅2c, 160RPM

速度分布図(左端)

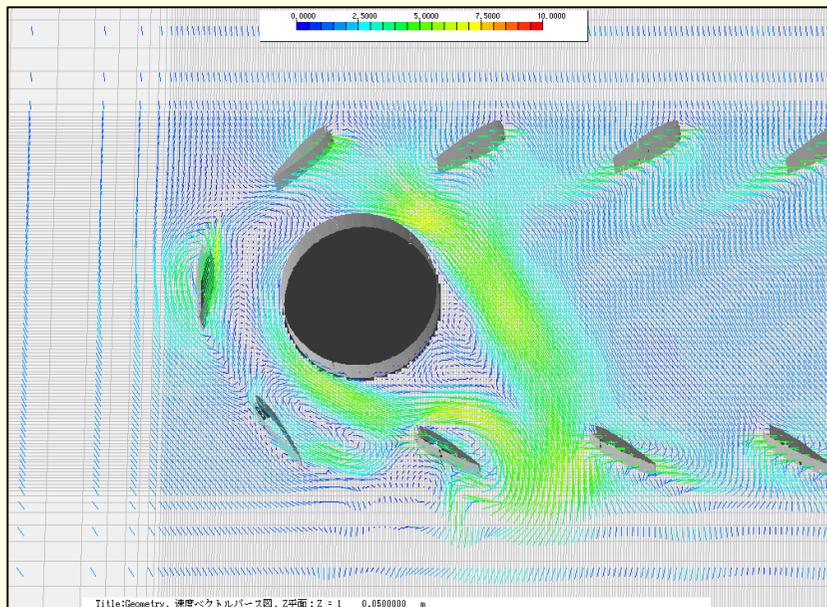


圧力分布図(左端)

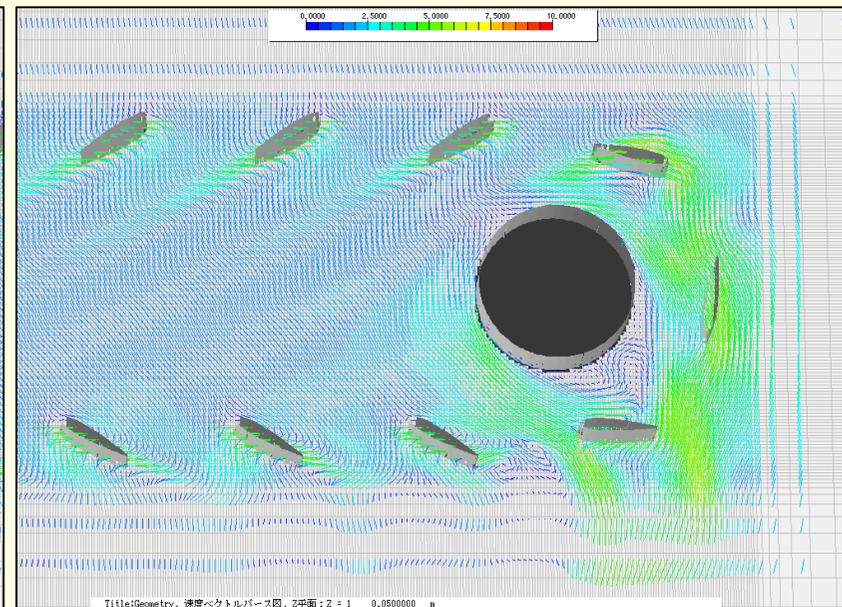


15. 計算結果 ①幅 $2c$, 160RPM

速度ベクトル図 (左端)

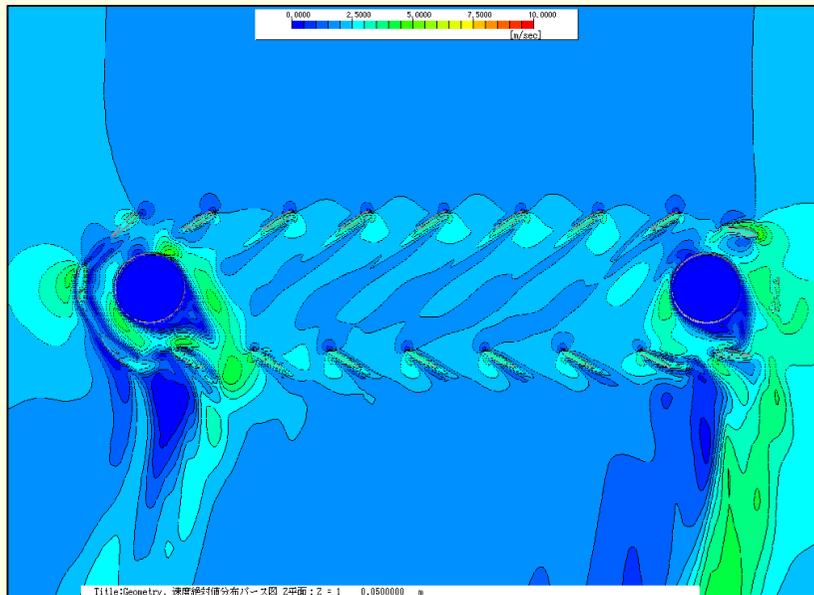


速度ベクトル図 (右端)

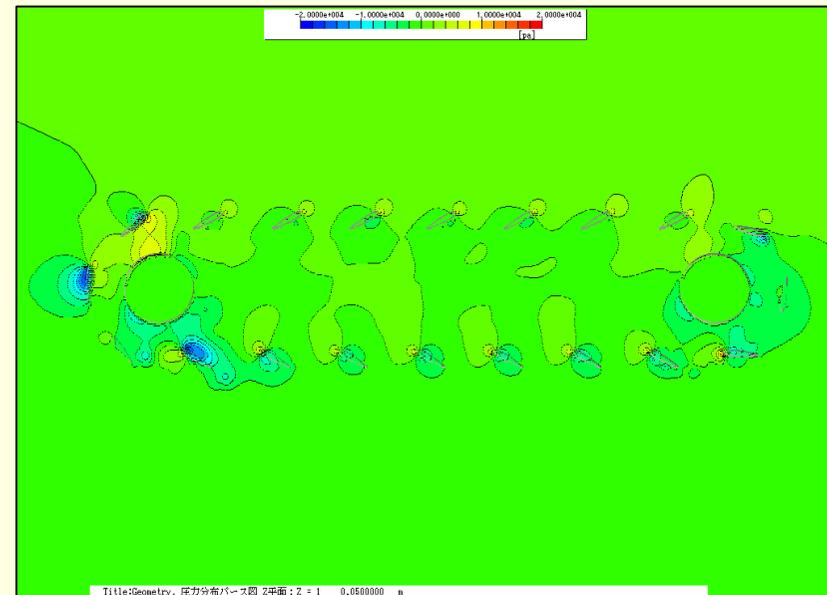


16. 計算結果 ②幅1.5c, 160RPM

速度分布図(全体)

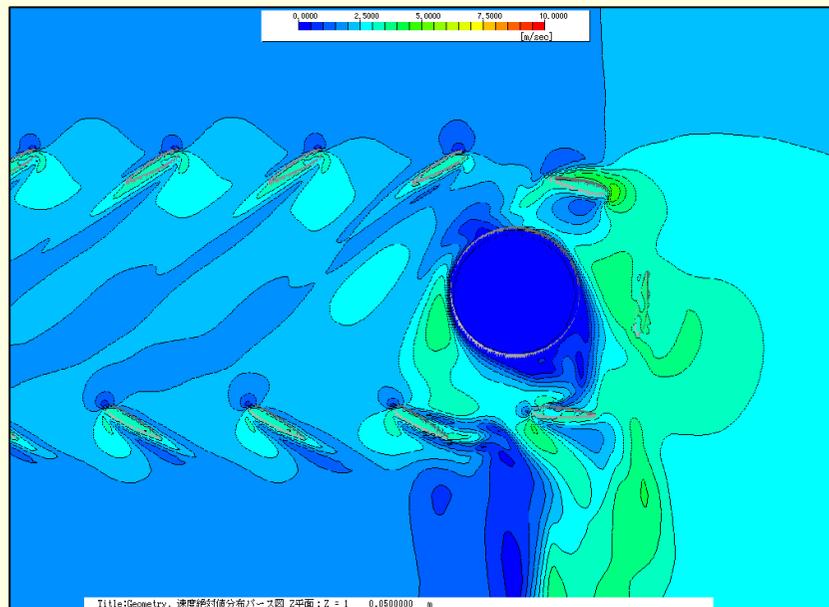


圧力分布図(全体)

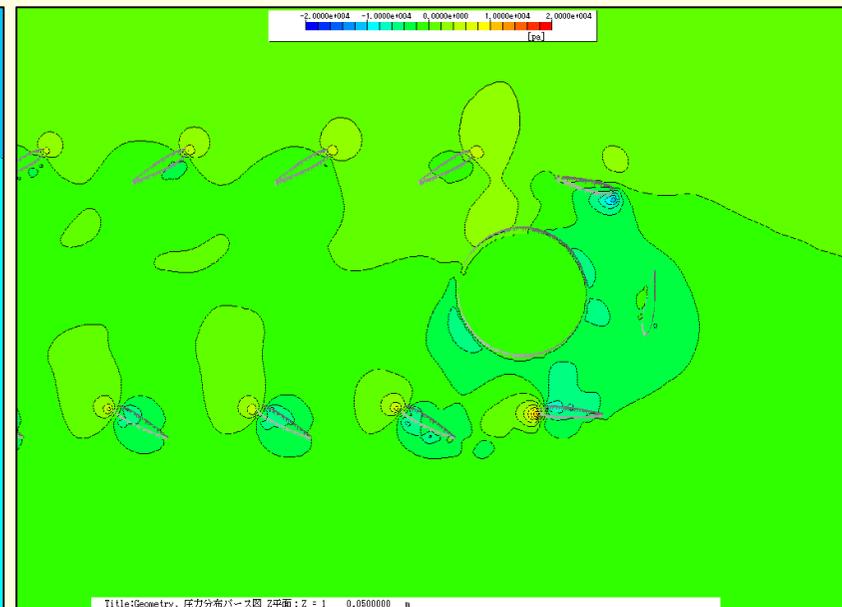


17. 計算結果 ②幅1.5c, 160RPM

速度分布図(右端)

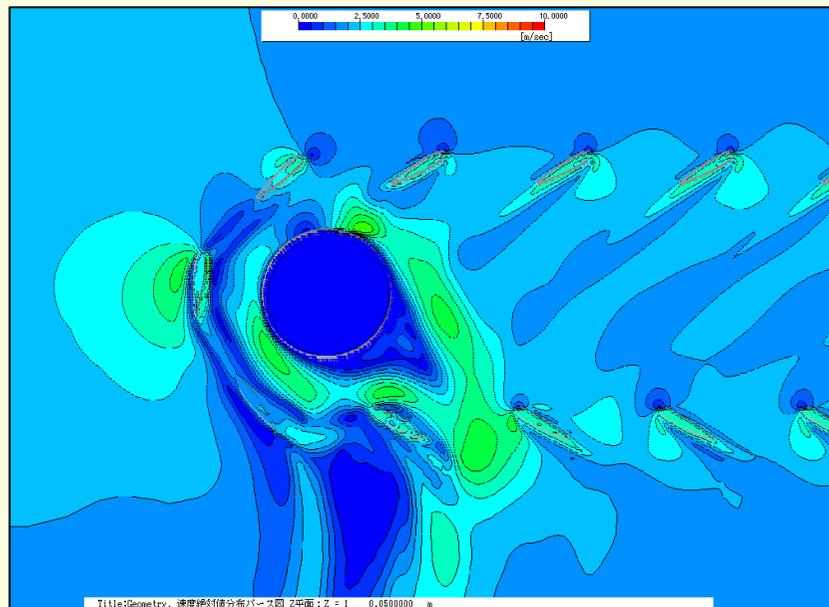


圧力分布図(右端)

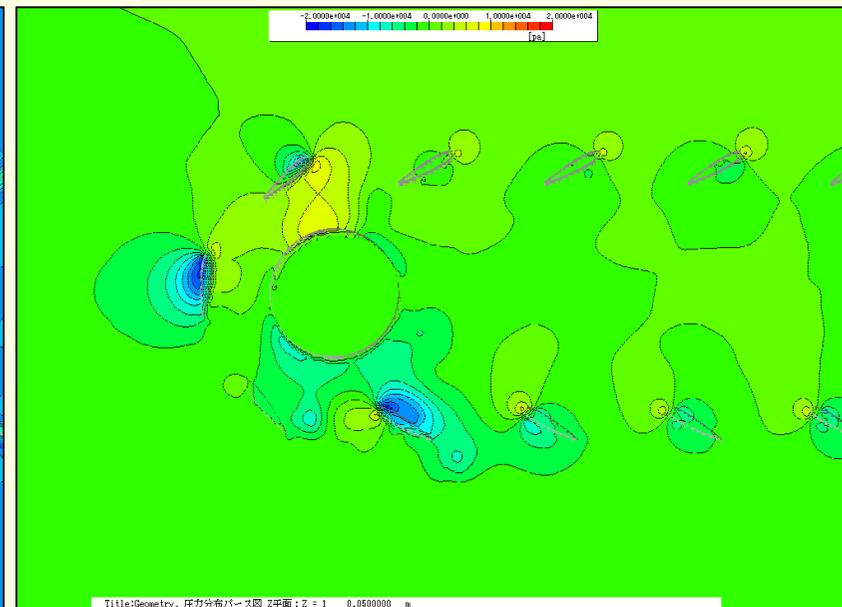


18. 計算結果 ②幅1.5c, 160RPM

速度分布図(左端)

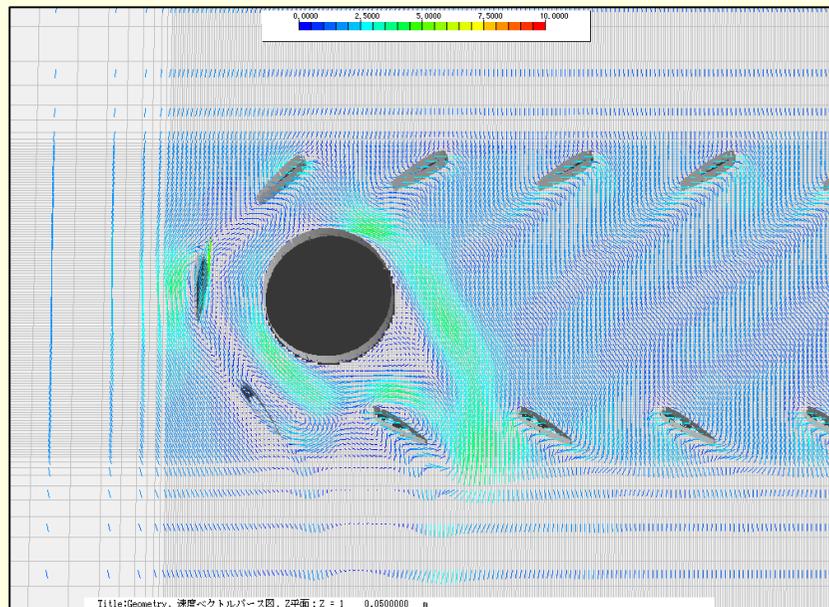


圧力分布図(左端)

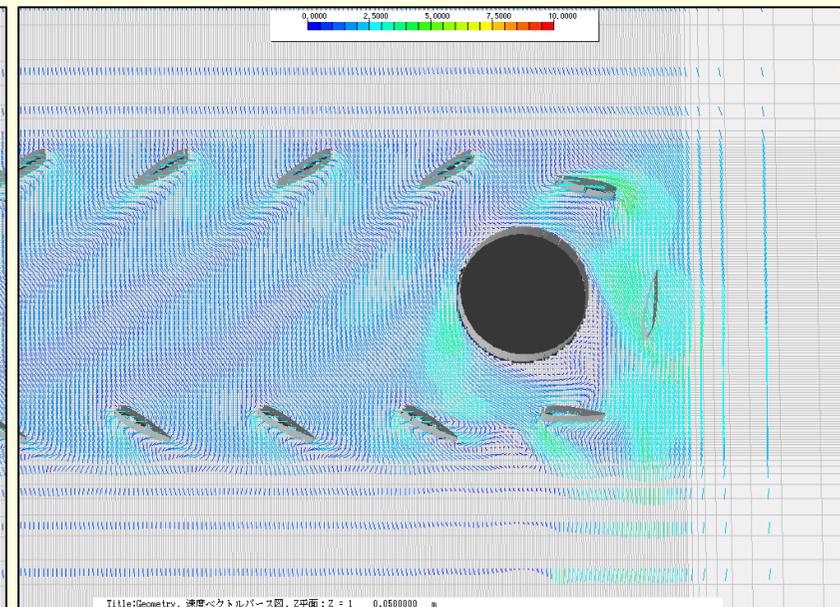


19. 計算結果 ②幅1.5c, 160RPM

速度ベクトル図 (左端)

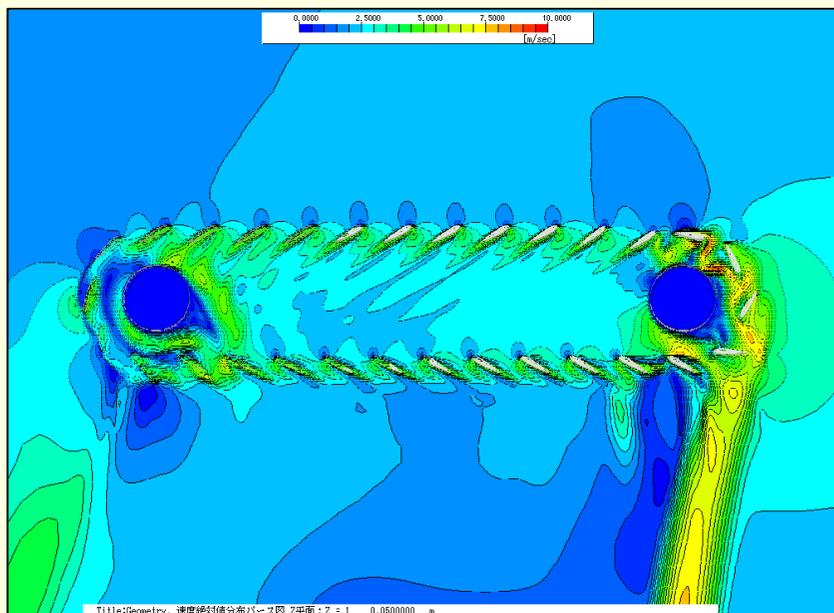


速度ベクトル図 (右端)

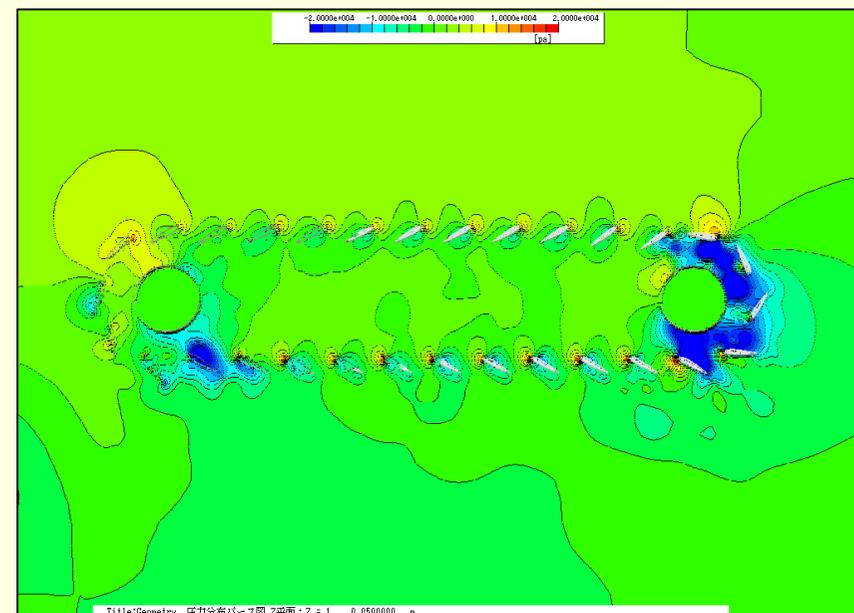


20. 計算結果 ③幅2c, 100RPM

速度分布図(全体)

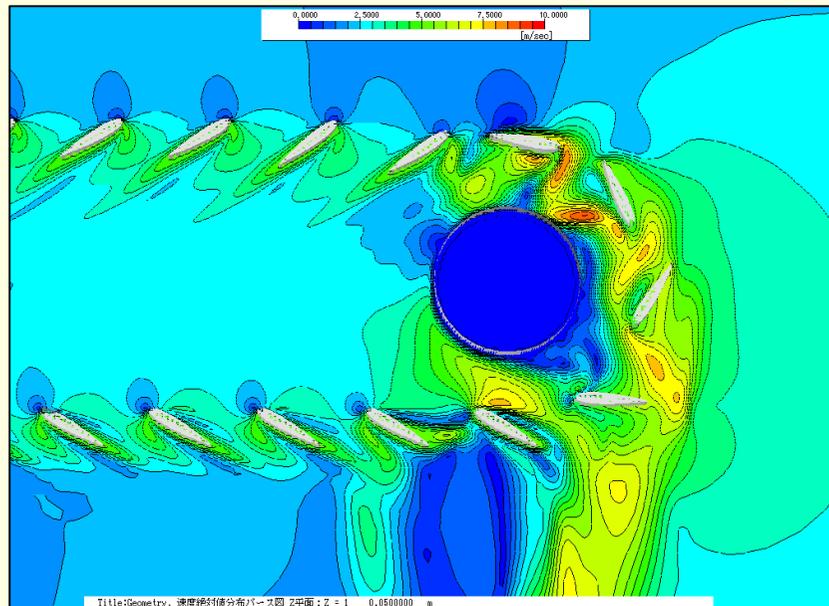


圧力分布図(全体)

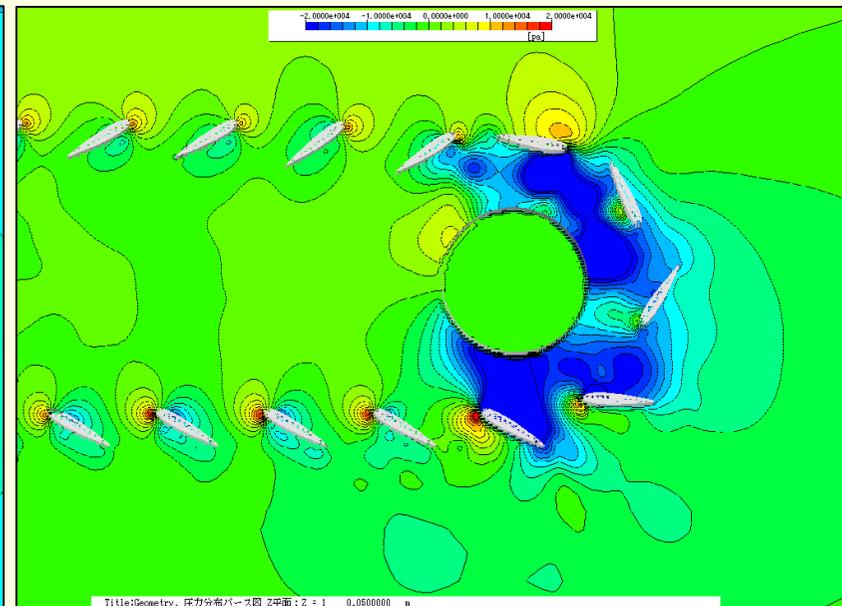


21. 計算結果 ③幅2c, 100RPM

速度分布図 (右端)

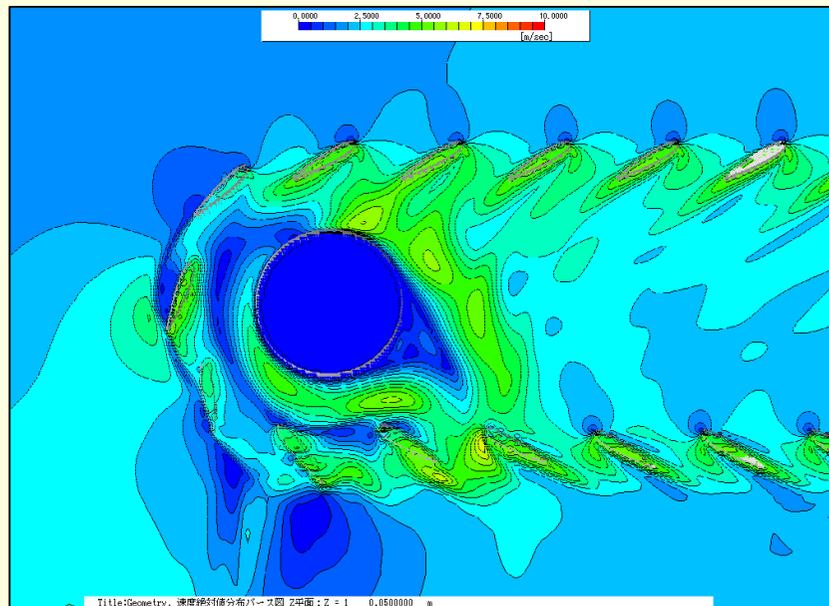


圧力分布図 (右端)

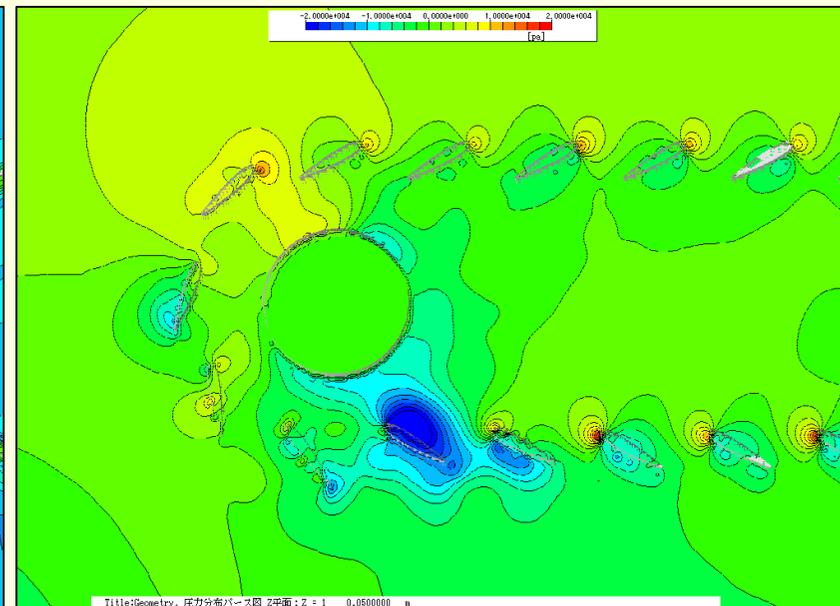


22. 計算結果 ③幅2c, 100RPM

速度分布図(左端)

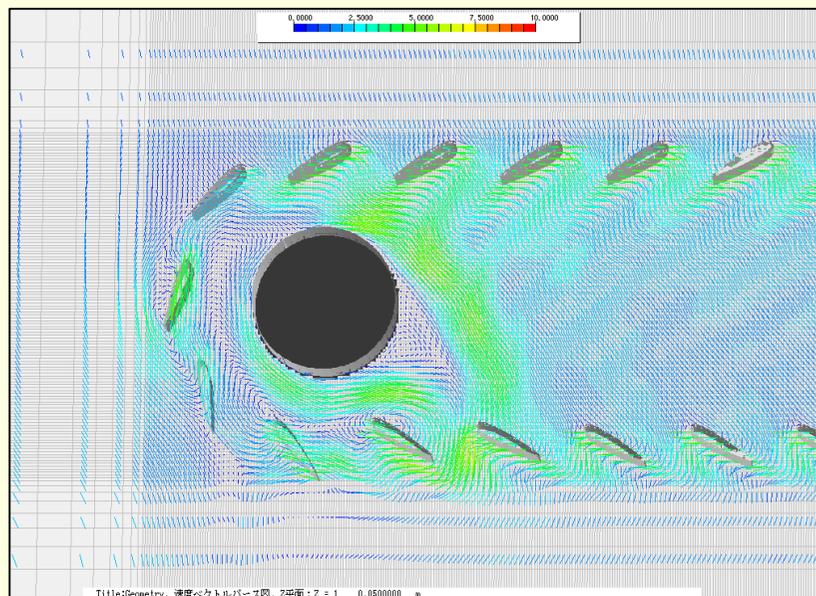


圧力分布図(左端)

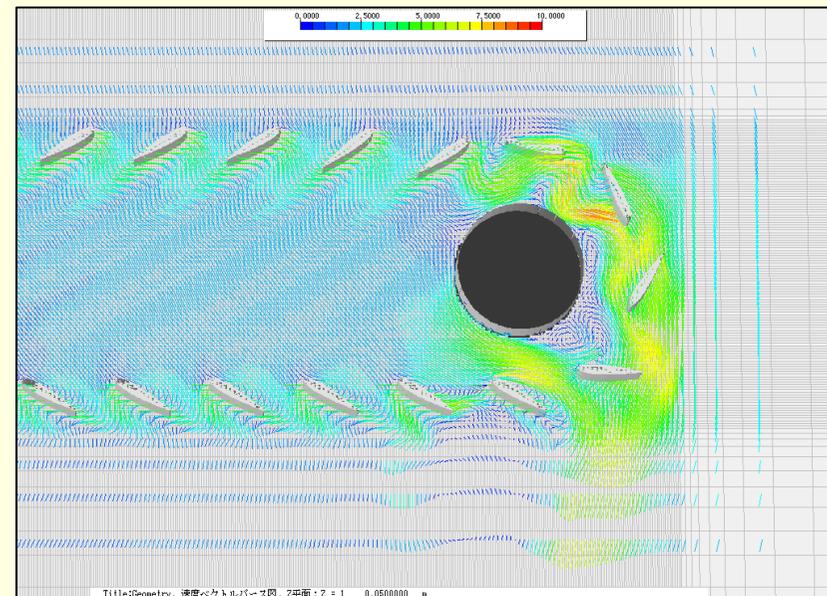


23. 計算結果 ③幅2c, 100RPM

速度ベクトル図 (左端)

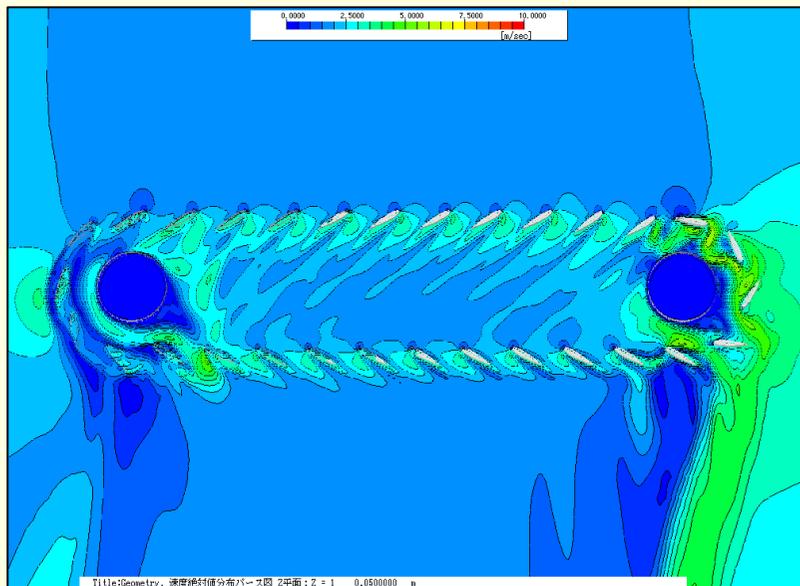


速度ベクトル図 (右端)

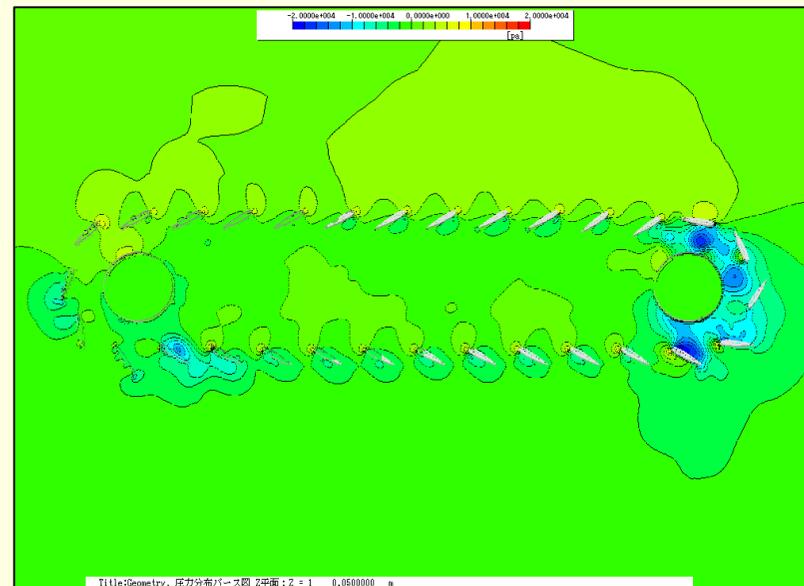


24. 計算結果 ④幅1.5c, 100RPM

速度分布図(全体)

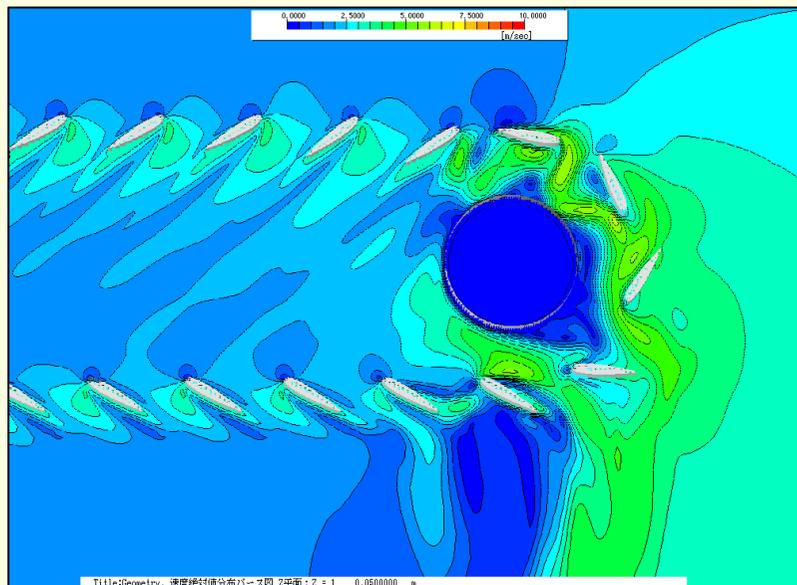


圧力分布図(全体)

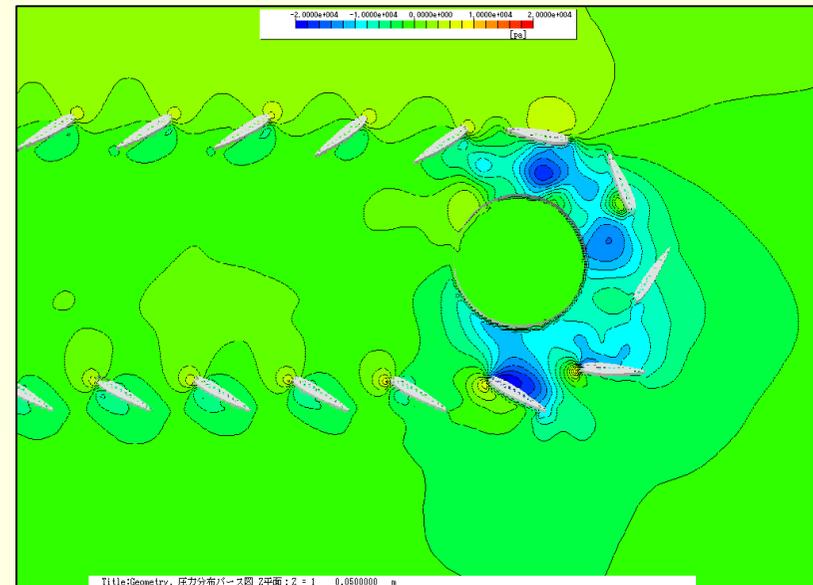


25. 計算結果 ④幅1.5c, 100RPM

速度分布図 (右端)

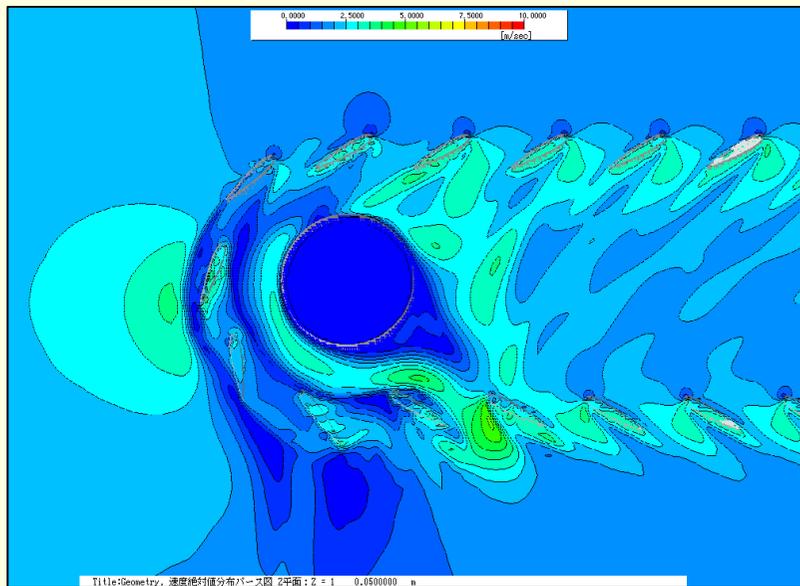


圧力分布図 (右端)

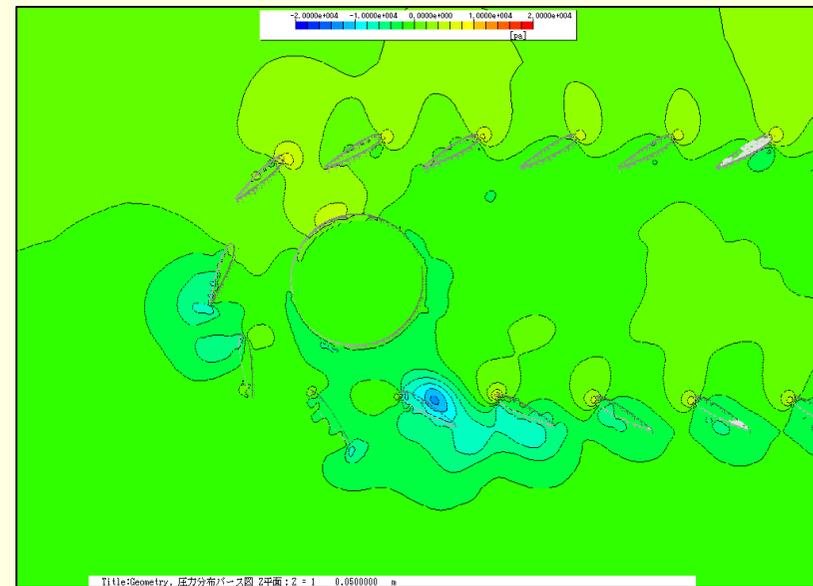


26. 計算結果 ④幅1.5c, 100RPM

速度分布図(左端)

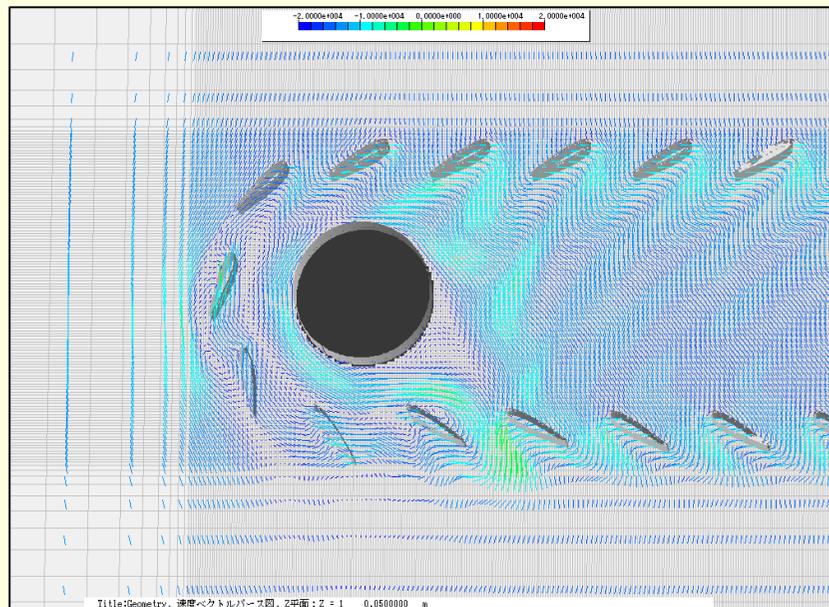


圧力分布図(左端)

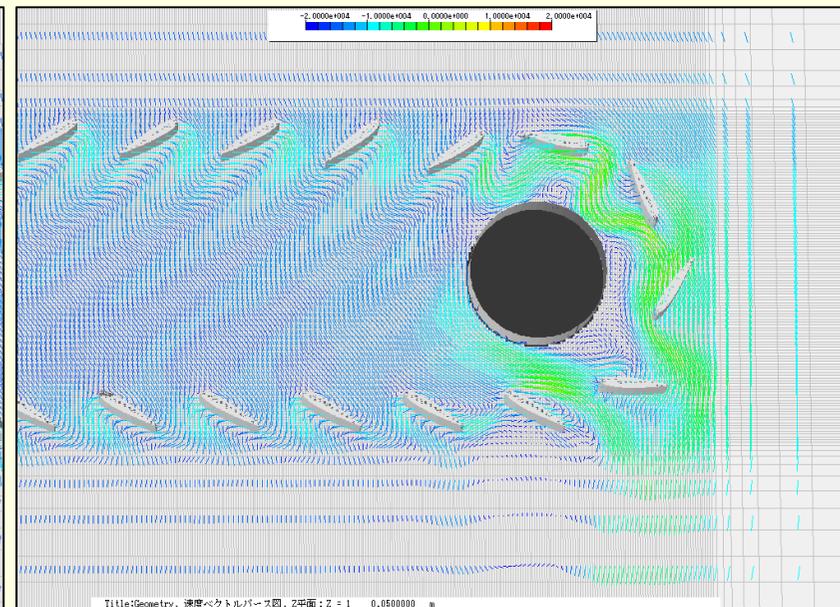


27. 計算結果 ④幅1.5c, 100RPM

速度ベクトル図 (左端)

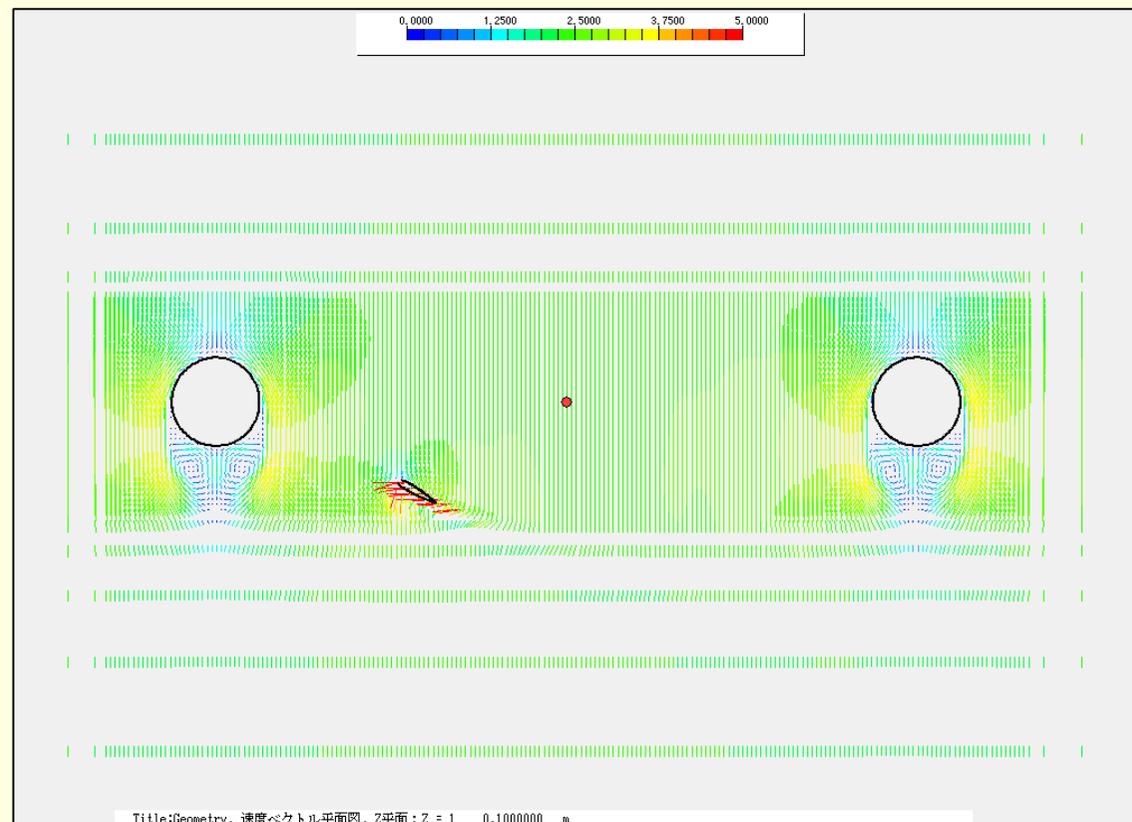


速度ベクトル図 (右端)



29. 計算結果 ④単翼, 160RPM

速度ベクトル図 (左端)



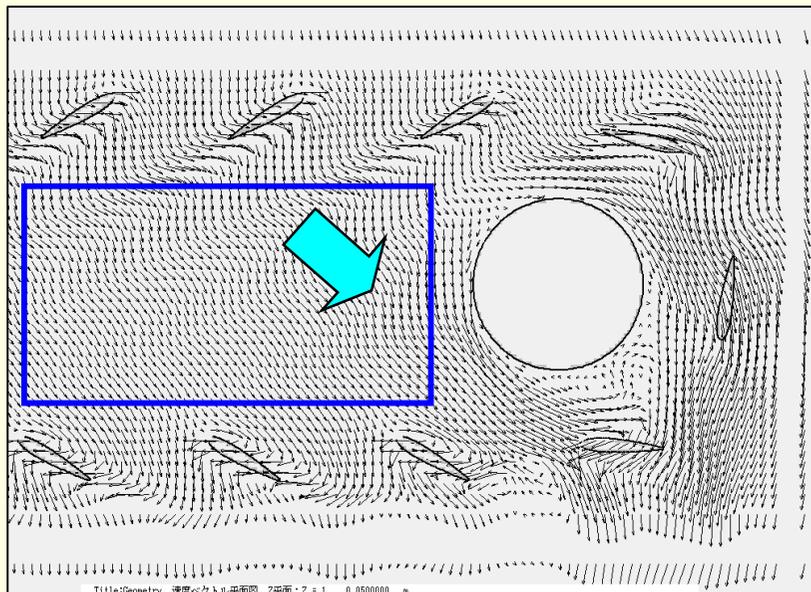
30. 各ケースの揚力・抗力

	揚力 (代表面積:0.015)	揚力係数	抗力	抗力係数
①幅2c, 160RPM :				
上段	+14.84	0.4947	-13.63	-0.4543
下段	-17.98	-0.5993	-10.28	0.3426
②幅2c, 100RPM :				
上段	+0.1119	0.00373	-7.426	0.2475
下段	-6.554	0.2185	-0.0766	0.0255
③幅1.5c, 160RPM :				
上段	+5.806	0.1935	-7.4013	-0.2467
下段	-15.78	-0.5260	0.4845	0.01615
④幅1.5c, 100RPM :				
上段	+2.9588	0.0986	-17.60	0.6867
下段	-4.4336	-0.1478	-11.065	0.3688

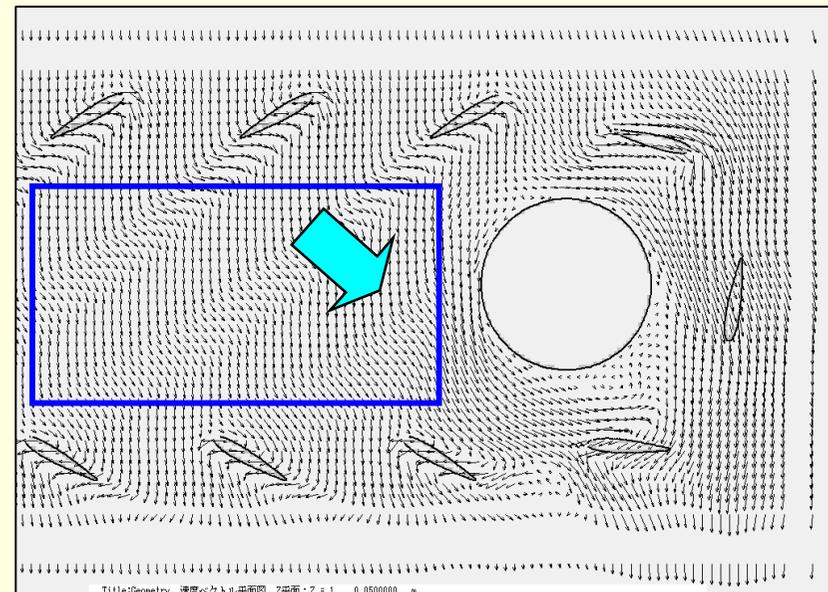
31. 上段・下段翼列間の流れ

上段翼列・下段翼列の間で、流れが斜め方向になっているのが観察される

①幅2c, 160RPM

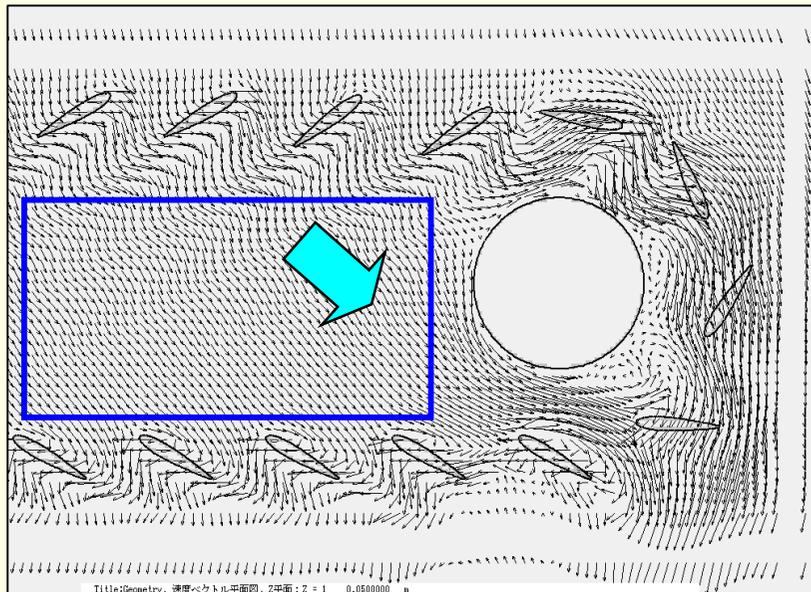


②幅2c, 100RPM

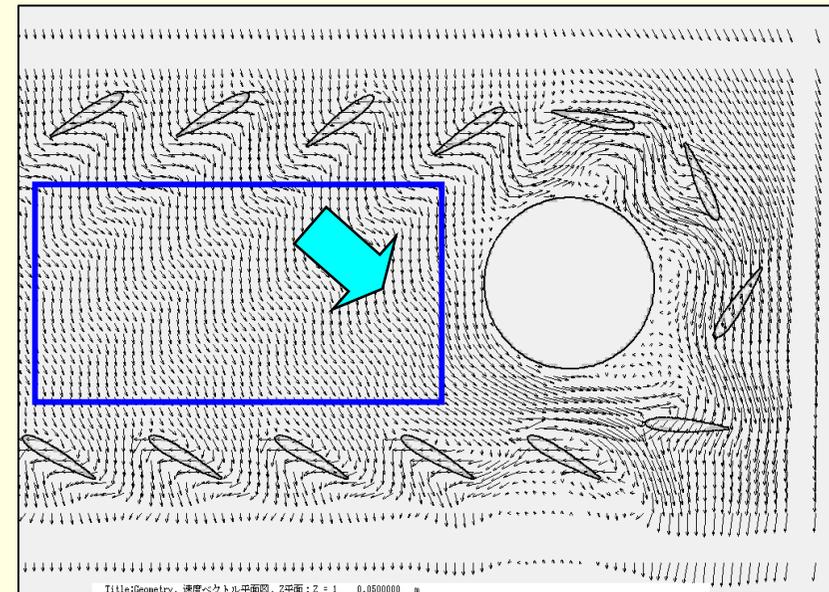


32. 上段・下段翼列間の流れ

③幅1.5c, 160RPM

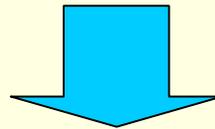


④幅1.5c, 100RPM



33. まとめ

2重反転翼列で構成される水車に関して移動境界CFDを適用し、基本的な流れ性状を明らかにすると共に、計算結果に基づき各ケースでの揚力、抗力を評価した。



- ・上段翼列と下段翼列はそれぞれアプローチ流れの向きが異なり、揚力・効力の発生で大きな差異が観察される
- ・翼間隔(幅)や翼の並進速度の影響は大きく、上段・下段翼列でピッチを違えれば性能が向上する可能性がある。